Aus dem Physiologischen Institut zu Giessen.

DER RADIALPULS
BEI VERSCHIEDENER HALTUNG DES ARMES.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

der

hohen medizinischen Fakultät

der

Grossherzoglich Hessischen Ludwigs-Universität zu Giessen

vorgelegt von

WILHELM FLASKAMP
aus Stromberg in Westf.

GIESSEN 1907
Hof- und Universitäts-Druckerei, Otto Kindt, Giessen.



dem Physiologischen Institut zu Giessen.

DER RADIALPULS
BEI VERSCHIEDENER HALTUNG DES ARMES.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

der

hohen medizinischen Fakultät

der

Grossherzoglich Hessischen Ludwigs-Universität zu Giessen

vorgelegt von

WILHELM FLASKAMP
aus Stromberg in Westf.

GIESSEN 1907
Hof- und Universitäts-Druckerei, Otto Kindt, Giessen.

Gedruckt mit Genehmigung der medizinischen Fakultät.

16. III. 06.

Referent: Professor Dr. Frank.

Meinen lieben Eltern
in Dankbarkeit

gewidmet

Noch immer ist die Entstehung der Formen des arteriellen Pulses nicht vollständig aufgeklärt. Es stehen sich die verschiedensten Meinungen gegenüber. Die Hauptschuld, dass nach über 50 jähriger, wissenschaftlicher, emsiger Arbeit diese Frage noch nicht entschieden ist, trägt die ungenügende Ausbildung der Methodik. Der Wirrwar, der durch Wiedergabe der Pulsbilder durch leistungsunfähige Apparate entstanden ist, hat sich als unauflöslich erwiesen.

Nachdem wir jetzt über die teilweise über Erwarten grossen Fehler der bisherigen Methodik unterrichtet sind und nachdem es gelungen ist, Apparate zur Aufzeichnung der Pulse zu konstruieren, deren Leistungsfähigkeit ziffernmässig festgestellt ist, und deren etwaige Fehler sich als so gering herausgestellt haben, dass eine absolut zuverlässige Verzeichnung der Pulsformen ermöglicht wird, verlohnt es sich, alte Probleme wieder von neuem aufzugreifen, deren experimentelle und theoretische Bearbeitung bis jetzt nur zu sehr unsicheren und widerspruchsvollen Ergebnissen geführt hat, und auch tatsächlich aus den erörterten Gründen führen musste.

Wenn man die Frage behandeln will, ob und wie durch Momente, die in den Gefässen selbst liegen, die Pulsform in dem betreffenden Gebiete beeinflusst wird, wird man solche Veränderungen in dem Kreislaufsystem zu setzen haben, die sich womöglich auf die Gefässe des Gebietes beschränken. Bei dem verwickelten Zusammenhang der Einrichtungen des Kreislaufs ist dies nicht so einfach zu erreichen, als es auf den ersten Blick scheinen

möchte. Verändern wir durch die experimentellen Massnahmen, die wir zum Zweck einer Untersuchung treffen, den zentralen Druck, so wird die Herztätigkeit eine andere oder es greifen vasomotorische Mechanismen ein, die zentrale Pulsform, die konstant bleiben soll, wird verändert. Wir können dann die Veränderungen, die in dem peripheren Puls auftreten, nicht mehr sicher auf periphere Einflüsse zurückführen. Bei dem Tierexperiment können wir diese Veränderungen des zentralen Pulses feststellen, während bei dem Menschen, für den derartige Untersuchungen in erster Linie wertvoll sind, im allgemeinen kein sicheres Mittel hier zu Gebote steht.

Ferner wissen wir nicht ohne weiteres, dass, wenn wir irgend einen bestimmten Einfluss in der Peripherie ausüben, nicht noch andere, im allgemeinen vasomotorische, Mechanismen an derselben Stelle ins Spiel treten.

Schon öfter ist festzustellen gesucht worden, welche Veränderungen in der peripheren Pulsform eines Körperteils bei Veränderung seiner Lage auftreten. Die Untersuchung beschränkte sich fast ausschliesslich auf den Arm. An ihm sind die Lageveränderungen in relativ ausgiebiger Weise hervorzubringen, ohne dass andere Körperteile in Mitleidenschaft gezogen würden. Ausserdem ist die Untersuchung des Radialpulses am leichtesten durchzuführen.

Man wird zunächst annehmen können, dass durch das Heben und Senken des Armes eine Veränderung des zentralen in der Aortenwurzel sich abspielenden Druckverlaufs nicht bewirkt wird. Das Gefässgebiet des Armes ist relativ zu klein, als dass eine wesentliche Veränderung eintreten könnte. Durch unsere Auseinandersetzungen in der vorliegenden Abhandlung wird diese Annahme noch näher begründet werden. Die einzige Veränderung, die durch die Lageveränderung geschaffen würde, scheint sonach die Veränderung des Lumens der Gefässe zu sein. Wir hätten also hier eine solche Einwirkung aufgefunden,

die unserer Forderung, sich auf das betreffende periphere Gebiet des Kreislaufs zu beschränken, Genüge leistete. Doch muss man immer im Auge behalten, dass durch die Veränderungen des Lumens der arteriellen Gefässe auch die Tätigkeit der Vasomotoren in diesen Gefässgebieten ausgelöst werden könnte, sodass neben der Veränderung des Lumens der Gefässe auch eine Veränderung der elastischen Verhältnisse der Gefässe, genauer eine Veränderung des Elastizitätskoeffizienten der Gefässe stattfinden könnte. Wir werden besonders auf diesen Punkt zu achten haben.

Abgesehen davon, dass wir hier einen Fall untersuchen, dessen Analyse für die Theorie wegen der Einfachheit der Verhältnisse von Bedeutung ist, erscheint die Untersuchung auch noch praktisch von Wichtigkeit, und zwar in doppelter Hinsicht. Die einfache Feststellung der Veränderungen des Pulsbildes durch die Veränderung der Lage eines Gliedes ist natürlich für die Pulsuntersuchung wertvoll insofern als wir über diese Veränderungen unterrichtet sein müssen, wenn unter abnormen Verhältnissen die Untersuchung des Pulses bei einer ungewöhnlichen Lagerung des Gliedes, hier des Armes, vorgenommen werden muss.

Aber auch noch in anderer Hinsicht erscheint die Untersuchung für den Mediziner von Wert. Man hat bisweilen versucht, die für chirurgische Operationen in den Extremitäten durch Einschnüren der Extremität erreichte Blutleere durch Heben dieser Extremität zu unterstützen, eventuell zu ersetzen, in der Meinung, dass durch längeres Heben der Glieder eine Veränderung der Elastizität der Gefässe bewirkt wird, sodass die Blutung aus diesen Gefässen vermindert würde. Aus von verschiedenen Autoren gefundenen Veränderungen der Pulsbilder hat man diese Behauptung ableiten wollen. Wir haben auch diesem Punkte unsere Aufmerksamkeit zugewendet. Es erscheint

ja ein Entscheid in dieser Hinsicht auch für die Frage nach der Einmischung vasomotorischer Momente in die Entstehung der Pulsbilder von Wichtigkeit.

Man wird nicht sagen können, dass das scheinbar so einfache Problem, dessen Neuuntersuchung wir in dieser Arbeit begonnen haben, bisher eine irgendwie befriedigende Bearbeitung gefunden hat. Nur in der Arbeit von v. Kries, der wir im wesentlichen die Anregung zu der Untersuchung verdanken, ist von klaren theoretischen Prinzipien ausgegangen, und sind die physikalischen Momente genügend durchgearbeitet. Was unsere Untersuchung neues bringt, ist im wesentlichen der Ausbildung der Methodik zu verdanken.

Im folgenden will ich zunächst kurz eine Übersicht über die bisherigen Untersuchungen auf diesem Gebiete und ihrer Ergebnisse berichten.

Dann gebe ich eine Beschreibung meiner Methode und meiner Versuche. Die einfachen Ergebnisse werden im wesentlichen durch durch die reproduzierten Kurven dargestellt.

Literaturangaben.

Urlich schreibt in seiner Abhandlung: „Über die Elastizitäts-Verhältnisse der Arterien bei vertikaler Elevation[1]): Der aufsteigende Schenkel der Kurven ist schon nach einer Elevationsdauer von 1 Minute um ein Bedeutendes kürzer, der Kurvengipfel hat seinen spitzen Winkel verloren, die 1. Elastizitätselevation ist zwar noch sichtbar, allein bedeutend undeutlicher ausgesprochen, und die Rückstosswelle tritt ebenfalls schon zurück. Betrachten wir den Puls nach Verlauf von 3 Minuten, so finden wir im ersten Abschnitt des Kurvenbildes noch das ähnliche Verhältnis, wie nach 1 Minute, etwa in der Mitte desselben jedoch — der Sphygmograph läuft 10 Sekunden — ver-

[1]) Archiv f. klin. Chirurgie 26. 1881. cf. v. Frey. Puls S. 220.

liert sich der Kurvengipfel vollständig, um ein flacher Bogen zu werden, die Elastizitätselevation ist ganz verschwunden und die Rückstosswelle nur vereinzelt noch erkennbar. Aus dem normalen Pulsus celer ist ein Pulsus tardus geworden. Die der Ausdehnung des Arterienrohres normal folgen sollende schnelle Kontraktion desselben ist geschwunden, hat es das Maximum seiner Ausdehnung erreicht, so befördert es die Blutmenge nicht rasch weiter, sondern verharrt in einem Grad von Spannung, kurz es ist ein gewisser Grad von Erlahmung der Arterienwand eingetreten, indem sie ihre Elastizität zum grössten Teil eingebüsst hat. Am Schlusse dieser Kurve 3 ist aber auch bereits Anakrotismus des Pulses bemerkbar, und noch deutlicher tritt dieser Anakrotismus bei der nach 5 Minuten gezeichneten Kurve (Kurve 4) hervor, wo der aufsteigende Schenkel eine ausgesprochene Elevation zeigt, es ist also nach 5 Minuten dauernder Elevation der höchste Erlahmungszustand der Arterienwand eingetreten. Ein äusserst interessantes Bild bietet nun der Puls 10 Minuten nach der Elevation (Kurve 5). Er ist wieder gross geworden, der aufsteigende Schenkel zeigt eine auffallend rasche und steile Ascension, am interessantesten verhält sich aber hier die Descensionslinie, sie fällt in ihrem Anfangsteile in einer so ungemein raschen Weise ab, dass sie im Gipfel fast mit der Ascensionslinie zusammenfällt, die erste Elastizitätswelle ist bedeutend höher geworden und tritt wieder deutlich hervor, ebenso ist die Rückstosswelle wieder ausgesprochen, mit einem Worte, die normalen Elastizitätsverhältnisse sind wieder zurückgekehrt. Indem ich nun dem nach ging, fand ich das Kurvenbild unverändert bis zur Senkung des Armes dasselbe bleibend."

Als Grund für die plötzlich wieder eintretende Celerität des Pulses trotz andauernder Elevation führt Urlichs an, dass das Arterienrohr seine Elastizität in einem solchen Grade verloren hat, dass es die durch die Triebkraft des

Herzens in dieselbe geworfene Blutmenge nicht rasch genug weiter befördern kann. Dieser Erlahmungszustand dauert aber, wenn er sein Maximum erreicht hat, nicht solange an, wie die Extremität sich in Elevation befindet, sondern es zeigt sich ein energisches Wiederkehren der Elastizität, und das Kurvenbild ist ein ganz anderes, wie das normale. Er erklärt diesen Vorgang in der Weise, dass in der Arterie die Schwere des Blutes der Triebkraft entgegenwirkt und dabei vorerst der Seitendruck erhöht wird, dass aber auf der anderen Seite durch den beschleunigten Rückfluss des Blutes in der absteigenden Vene eine Spannungsveränderung im zunächst liegenden Kapillarsystem gesetzt wird und dadurch wieder sekundär eine Veränderung in der betreffenden Arterie.

Aus den Pulskurven bei eleviertem Arm zieht Urlichs folgenden Schluss: Schon kurz nach der Elevation beginnt die Erschlaffung und der Elastizitätsverlust der Arterie, um nach 5 Minuten, selten etwas darüber, den höchsten Grad der Erlahmung, der sich auf der Kurve durch den Anakrotismus anzeigt, erreicht zu haben. Von da an stellt sich das normale Spannungs- und Elastizitätsverhältnis allmählich wieder her, wegen Mangels einer genügenden Blutmenge bleibt das Kurvenbild aber ein absonderliches; dieser Zustand dauert von jetzt an, solange die Extremität in Elevation bleibt, bis zur Senkung des Armes an.

Lässt man den Arm wieder die horizontale Lage einnehmen, so kehrt das normale Pulsbild bald wieder. Der aufsteigende Schenkel bleibt noch etwa 5 Minuten kleiner. Der Gipfel wird, im Gegensatz zu dem extrem spitzen der letzten Kurvenbilder, wieder abgestumpfter (Kurve 6) und schon nach etwa 6 Minuten ist der Puls wieder fast normal (Kurve 7). Dass der Kurvengipfel bei der wieder eingenommenen horizontalen Lage etwas abgerundet erscheint, dürfte wohl darin seinen Grund haben, dass plötzlich eine solche Blutmenge in der Arterie sich augenblick-

lich befindet, dass dieselbe eine etwas längere Zeit in der Ausdehnung verharren muss; erst allmählich reguliert sich der Kreislauf und gibt das normale Pulsbild.“

Ähnliches behauptet auch Menli in seiner Schrift über die Veränderungen von Puls und Temperatur bei elevierten Gliedern[1]). Er sagt nämlich: „Durch die Elevation allein tritt eine deutliche Anakrotie ein. Der Beginn des Anakrotismus ist verschieden.“ Menli wendet sich jedoch gegen die Behauptung Urlichs, dass nach einer Elevation von 5 Minuten die Erschlaffung und der Elastizitätsverlust der Arterie den höchsten Grad erreicht habe; denn er fand noch nach 45 Minuten langer Elevation eine ausgesprochene Anakrotie und eine Andeutung davon noch nach 63 Minuten. „Auf Tafel II, Kurve V beginnt Anakrotie erst nach 15 Minuten Elevation, ist nach 20 Minuten verschwunden, um nach 25 Minuten eine Andeutung davon wahrnehmen zu lassen. Von jetzt an verschwindet er wieder ganz, um aber nach 85 Minuten deutliche Elastizitätsabnahme erkennen zu lassen. Der Anakrotismus sowie der langsame und träge Übergang der Ascensions- in die Descensionslinie ist ein deutlicher Beweis für die Elastizitätsabnahme. Auf Tafel II, Kurve V ist dies nun sehr deutlich ausgesprochen, indem die einmal erreichte Kurvenhöhe sich eine zeitlang konstant hält, um dann plötzlich zu fallen, sodass fast das Bild eines halben Rechtecks oder Quadrats entsteht.

Die Pulsbilder bei der Elevation zeigen eine grosse Inkonstanz, indem diese nach einiger Zeit wieder die schönsten schlanken Gipfel mit ausgesprochenen Elastizitäts-Erhebungen (Tafel II, Kurve V) und hoher Ascensionslinie zeigen.“

Bei herabhängendem Arm fand Menli; „dass der Puls kleiner wird, die aufsteigende Kurvenlinie fast durchgehends niedrig ist und sie sich in grösseren Intervallen

---

[1]) Diss. Bern 1882.

folgen, sodass die Kurve sich etwas einer geraden Linie nähert und der Puls aus einem normal katadikroten zu einem katakroten wird. Alles dieses vielleicht, weil infolge des hydropatischen Druckes der hohen Blutsäule und der starken Füllung der Gefässe die Elastizität der Wandungen nicht zur vollen Geltung kommen kann, da das bereits ad maximum ausgedehnte Gefässrohr durch die neu ankommende Blutwelle nur mehr eine geringe Exkursion ausführen kann".

Auch v. Frey[1]) fand bei seinen Pulsuntersuchungen, dass „der normale katakrote Puls bei der Elevation anakrot wird. Die Elevation erstreckte sich nur auf einige Minuten. Eine Erklärung dieser Kurven ohne tachographische Aufzeichnung dürfte wohl kaum zu geben sein. Man wird daran denken müssen, dass infolge der Verengerung sämtlicher Kapillaren der Hand die Pulswellen sehr vollständig zurückgeworfen werden, auch der Ort der Reflexion wohl näher gegen das Herz rückt, sodass man eine deutliche Ausbildung der ersten zentripetalen, im Hauptgipfel enthaltenen, rückläufigen Welle, sowie der kurzläufigen aus den übrigen Arterien des Armes erwarten darf. Die Fortpflanzung der Wellen wird entsprechend der Leere der Arterien langsam geschehen. Indessen sind vielleicht noch andere Zirkulationsänderungen vorhanden. Eine vorübergehende Steigerung des Blutdrucks ist zu erwarten, da die aus dem erhobenen Arm verdrängte Blutmenge im übrigen Körper Platz finden muss. Hierfür ist die von Marey festgestellte Tatsache von Bedeutung, dass in dem Sphygmogramm des ruhenden Armes die Kurvenreihe um ein Geringes steigt, wenn der andere Arm gehoben wird. Gleichzeitig schien mir bei diesem Versuch die dikrotische Erhebung im ruhenden Arm deutlicher ausgeprägt zu sein, was mit der Anakrotie im erhobenen Arm nicht im Widerspruch steht."

[1]) Die Untersuchung des Pulses S. 221.

Die Angaben, die v. Kries[1]) über die Beeinflussung des Radialpulses durch die Haltung des Armes macht, stimmen in einigen Punkten mit denen der übrigen überein. Er schreibt: „Der Unterschied der Kurven bei gesenktem und erhobenem Arm ist so erheblich, dass man auf den ersten Blick kaum glauben sollte, den Puls der gleichen Arterie vor sich zu haben. Man bemerkt, dass bei gesenktem Arm die sphygmographische Linie nach der Hauptspitze ziemlich steil absinkt, um sodann zu einer sehr starken dikrotischen Erhebung wieder anzusteigen. Das Sphygmogramm des erhobenen Armes zeigt dagegen ein viel langsameres Absinken. Auf dem absteigenden Schenkel ist eine stärkere dikrotische Erhebung, welche der des anderen Sphygmogramms analog zu setzen wäre, nur mit Mühe vernehmbar. Dagegen zeigt sich ganz regelmässig schon im aufsteigenden Schenkel des Sphygmogramms ein kleiner Vorschlag; der Puls erscheint also, gewöhnlicher Bezeichnungsweise nach, anakrot. Die Grundform des Pulses also, ebenso die Gestaltung der dikrotischen Erhebung durch die Haltung des Armes in ausgeprägter Weise beeinflusst."

Versuchsanordnung.

Wir führten unsere Versuche mit dem von O. Frank und J. Petter auf Grund einer mechanischen Analyse des Prinzips der Sphygmographen konstruierten Apparat aus. Seine Konstruktion lehnt sich äusserlich an den Aufbau des Dudgeon'schen Sphygmographen an. Die wichtigste Änderung des neuen Apparates gegenüber dem alten ist die Einsetzung eines anderen Schreibhebels. Der Schreibhebel, der am Dudgeon'schen Apparat aus Messing besteht, wurde gegen einen Aluminiumhebel umgewechselt, um ein möglichst geringes Trägheitsmoment zu erzielen. Die Kugel an der Verlängerung des Hebels wurde durch

[1]) Studien zur Pulslehre. Freiburg 1892 S. 106.

eine Spiralfeder ersetzt, z. T. um die reduzierte Masse zu verringern, hauptsächlich aber um die Funktion des Hebels unabhängig von der Lage des Apparats zu machen. Anstatt der Schreibnadel, die beim alten Dudgeon'schen Apparat durch ein Gelenk mit dem Hebel verbunden ist, wurde eine Fischbeinpose an dem Hebel befestigt. Das hat zunächst den Vorteil, dass letztere in jeder Lage des Sphygmographen schreibt. Vor allem wird dadurch aber die reduzierte Masse verringert. Der Apparat wurde auf der Jaquet'schen Schiene befestigt. Diese Montage bezweckt die leichtere Verstellbarkeit der Pelotte des Sphygmographen und eine sichere Befestigung desselben, sodass die Erzitterungen in den Kurven im allgemeinen ferngehalten werden. Zur Zeitmarkierung (nur in den letzten Versuchen verwendet) wurde ein Elektromagnet an dem Sphygmographen befestigt, der mit dem Uhrwerk des Jaquet'schen Apparates in Verbindung stand. Der verbesserte Sphygmograph unterscheidet sich nun vorteilhaft von den anderen dadurch, dass seine reduzierte Masse nur 40 g, während der alte Dudgeon'sche 500 g beträgt. Der beste bis jetzt konstruierte Sphygmograph von Frey hat eine reduzierte Masse von ca. 200 g. Dadurch wird erreicht, dass unser Sphygmograph in der Sekunde etwa 30 Eigenschwingungen bei grösserer Empfindlichkeit auf der Arterie hat, während der Dudgeon'sche ungefähr 10, der Frey'sche Apparat etwa 13 hat. Sodann hat das geringe Gewicht des Sphygmographen den Vorzug, dass die durch Bewegungen des Armes etc. erzeugten Erzitterungen in den Kurven auf ein Minimum herabgesetzt werden. Infolge der Verbesserungen an dem Apparat zeigten die Pulskurven eine grosse Regelmässigkeit, sie waren vollständig frei von Schleuderungen und im wesentlichen auch von Erzitterungen.

Unsere Aufnahmen wurden sämtlich bei sitzender Körperstellung aufgenommen und zwar die zusammenge-

hörigen unmittelbar nach einander, mit einer Zeitdifferenz von wenigen Minuten. Es wurde immer zunächst eine Normalkurve aufgenommen, wobei der Arm in horizontaler Lage etwa in Herzhöhe auf einer Armstütze ruhte. Die Hand umfasste dabei einen Griff, sodass die Lage des Armes eine möglichst bequeme und unveränderte war. Bei Elevation, die nur einige Minuten dauerte, wurde die Armstütze auf einen Tisch gestellt, der Arm bequem und fest angelegt, aber nicht festgebunden. Der Grad der Elevation betrug ungefähr 50 cm über Herzhöhe. Bei einem Versuch, zum Schluss diskutiert, elevierten wir den Arm 60 Minuten lang, und machten dabei mehrere Aufnahmen in bestimmten Intervallen. Bei der Aufnahme der Pulskurven des gesenkten Armes befand sich der Körper in aufrechtsitzender Stellung, der Arm wurde soweit gesenkt, wie es der Betreffende ohne Unbequemlichkeit vermochte und dann in die Armstütze gelegt, wie bei den übrigen Versuchen.

Theoretisches.

Welche Veränderungen werden nun voraussichtlich in dem Systen des Kreislaufs eintreten, wenn der Arm in verschiedene Lage gebracht wird?

Zunächst darf man annehmen, dass durch die Lagenänderung in der Wurzel der Aorta bezw. an der Anfangsstelle der Subclavia, eine wesentliche Änderung des Drucks nicht erfolgt. Die Formeln, durch welche die Beziehungen, die hier gelten, dargestellt werden, lassen sich leicht entwickeln. Sie sind z. T. von Hermann schon aufgestellt worden. Soviel ich sehe, ist von Hermann jedoch nicht der hier verwendbare Fall behandelt worden, dass nur ein Teil des Körpers eine Lageveränderung erfährt. Nimmt man zur Vereinfachung an, dass das ganze Gefässgebiet des betreffenden Körperteils, hier des Armes, aus einer elastischen Blase bestünde, die durch eine starre Röhre

von der Länge des Armes mit dem gleichfalls als Blase gedachten Gefässgebiet des ganzen Körpers verbunden wäre, so ergibt eine einfache Rechnung, dass bei Heben dieser Blase um eine Höhe *h*, der Druck — immer nur rein statische Verhältnisse des toten Systems betrachtet —, in dem Gefässgebiet des Körpers, das durch die grosse Blase repräsentiert wird, steigt um $\frac{EK}{EA + EK} h\sigma g$, wenn die Volumelastizitätskoeffizienten der Arm- und Körpergefässe EA bezw. EK betragen. Da diese Elastizitätskoeffizienten bei beiläufig gleichen Modul der Gefässwände im umgekehrten Verhältnis des Inhalts dieser Gefässgebiete stehen, so wird der Druck in dem Gefässgebiet des Körpers, wenn man in Anbetracht des relativ grossen Volums der Körpergefässe die obige Formel entsprechend vereinfacht, um die Grösse VA/VK mal dem Druck einer Blutsäule von der Höhe, um die der Arm gehoben wird, vermehrt. Das Verhältnis des Volums der Armgefässe zu dem Volum der Körpergefässe ist nun sehr klein, sodass durch die Veränderung der Lage des Armes eine nur geringe Änderung des Drucks in dem Körper zu Stande kommen kann. (Über eine teilweise ähnliche Betrachtungsweise siehe v. Frey loc. cit. S. 222).

Ein weiteres Moment könnte aber zu einer geringfügigen Erhöhung des Drucks in der Aorta führen, wenn der Arm gehoben wird. Die Erhebung des Arms bedingt eine Verminderung des Drucks in den peripheren Teilen des Arms entsprechend der Niveauänderung des betreffenden Teils. Durch sie wird, wie wir sehen werden, eine Verengerung der Gefässe hervorgerufen. Die Verengerung bedeutet eine Vermehrung der Reibung und führt damit zu einer Erhöhung des Drucks im zentralen Gebiet durch hydrodynamische Einflüsse. Aber auch diese Erhöhung wird entsprechend der geringfügigen Änderung von sehr geringem Einfluss sein.

Streng messen liesse sich eine solche Veränderung des zentralen Drucks nur bei dem Tierexperiment. Aber es sind auch Angaben in der Literatur vorhanden, die unsere Annahme einer nur geringfügigen Änderung des Drucks bei dem Heben des Arms bestätigen. Marey hat eine Pulskurve von der einen Radialis aufgeschrieben, während der Arm der anderen Seite gehoben wurde. Er hat eine ganz geringfügige Erhöhung des Drucks oder Erhöhung des Niveaus der Pulskurven feststellen können[1]). Vergleicht man die Änderung, die hier festgestellt wurde, mit der Änderung des Drucks in der Arterie des gehobenen Arms selbst, so dürfte die Änderung in dem Zentrum schätzungsweise nur einige Millimeter betragen haben. Vielleicht könnte man diese Änderung mit einem der modernen Blutdruckmesser feststellen.

Es existiert aber ein weiteres vertrauungswürdiges Zeichen dafür, dass die Änderung des Drucks in dem Zentrum des Kreislaufgebietes nicht beträchtlich ist. Wir wissen, dass auf Änderungen des Drucks in dem Zentrum hin sofort die nervösen Mechanismen des Kreislaufs reagieren. Es wird entweder eine Verlangsamung oder Beschleunigung des Pulsschlages eintreten müssen, oder die vasomotorischen Einrichtungen werden in Tätigkeit versetzt werden. Nichts deutet darauf hin, dass dies im ausgiebigem Masse der Fall ist. Wir haben bei einer der unten genannten Versuchspersonen die Pulsfrequenz zunächst festgestellt, als der Arm in der horizontalen bequemen Lage sich befand. Sie betrug 75 in der Minute. Dann wurde der eine Arm gehoben. Die Pulsfrequenz blieb zunächst einige Minuten unverändert. Nach etwa 3 Minuten wurde sie etwas unregelmässig und stieg auf ca. 79. Dass die Pulsfrequenz nicht sofort verändert wurde, ist wohl als ein Zeichen dafür aufzufassen, dass die Druckveränderung an sich so geringfügig war, dass

[1]) Marey, La circulation du sany 1881 S. 440.

sie keinen Einfluss auf die Auslösung der nervösen Einrichtungen hatte. Die kleine Frequenzsteigerung, die nach einigen Minuten eintrat, dürfte wohl durch die doch nicht ganz ausgeschaltete Anstrengung bei dem Heben des Armes hervorgerufen sein. Sie würde also auf gesteigerte Muskeltätigkeit und die damit verknüpften Erregungsmomente zurückzuführen sein. Marey hat bei dem Heben beider Arme eine geringe Verlangsamung des Pulsschlages gefunden (v. Frey S. 221).

Dass die Vasomotoren nicht ausgiebig ins Spiel treten, dafür werde ich unten noch den Wahrscheinlichkeitsbeweis zu erbringen suchen.

Wenn wir noch bedenken, dass selbst ausgiebige Druckveränderungen in dem Zentrum nur verhältnismässig geringfügige Änderungen der zentralen Pulsform oder der Grundform des Pulses hervorrufen, so können wir für unsere weitere Analyse von der wohl begründeten Annahme ausgehen, dass durch die Massnahmen, die wir getroffen haben eine Veränderung der Form des zentralen Pulses nicht erfolgt. Es würde also die Änderung, die wir getoffen haben, in der Tat erreicht sein, dass nur die Peripherie des betreffenden Gefässgebiets, hier des Armes, eine Veränderung erfährt, während die Grundform des Pulses unverändert bleibt.

Die Veränderungen, die in der Peripherie eintreten, lassen sich nun verhältnismässig leicht qualitativ bezeichnen. Statisch betrachtet, nimmt, wenn der Druck in dem Zentrum, wie wir soeben auseinandergesetzt haben, im wesentlichen gleich bleibt, der Druck bei dem Heben des Armes in der Peripherie entsprechend der Höhe der einzelnen Gefässstellen über dem Niveau des Abganges der Subclavia ab, bei dem Senken des Armes entsprechend zu. Diese Veränderung des Drucks in der Peripherie der Röhre würde nun überhaupt keinen Einfluss auf den Blutlauf haben, wenn die Röhre nicht elastisch wäre, wenn

sie starr wäre. Was über die unmittelbare Einwirkung dieser Druckveränderungen in den übrigen, oben zitierte Arbeiten, z. B. in der Arbeit von Menli S. 37 (nach Jürgensen) gesagt wird, basiert auf unrichtigen Überlegungen. Solange der Druck im Anfang des Gefässgebiets, an der Wurzel der Subclavia, und am Ende des Gefässgebiets, an der Wurzel der Venen, unverändert bleibt, ist eine unmittelbare Wirkung der Druckveränderungen in der Peripherie ausgeschlossen. Dagegen tritt hier eine mittelbare ein, die wie es scheint merkwürdigerweise von den meisten Untersuchern nicht in Betracht gezogen worden ist, wie überhaupt in der ganzen Literatur des Kreislaufs die Vernachlässigung der eigentlichen dynamischen Momente, bezw. die Unkenntnis derselben festzustellen ist. Sogar die Gesetze der stationären Strömung werden vielfach fast durchgehend verkannt, geschweige, dass die dynamischen Verhältnisse der pulsorischen Bewegung des Blutes berücksichtigt werden. Es wimmelt bei den Erörterungen hier von unverstandenen Schlagwörtern allgemeiner Art, wie „Elastizität, Tonus, Spannung, Druck, Widerstand, anakroten und katakroten Zacken, Elastizitätselevationen, Rückstosselevation, primären und sekundären Wellen“ deren wahllose Verwendung eine Analyse des Pulses natürlich nicht bedeutet, ja wohl einer solchen hinderlich ist.

Die mittelbare Einwirkung der successiven durch die Schwere bedingten Druckveränderungen in der Peripherie auf die Strömungsverhältnisse besteht in einer Verengerung der Gefässe. Wenn der Arm um seine Länge gehoben oder gesenkt wird, tritt in der Peripherie, also in den Gefässen der Hand eine Veränderung des Drucks von ca. 50 cm Wasser, entsprechend der Länge des Armes ein. Durch diese Druckveränderung wird eine Veränderung des Lumens der Gefässe bedingt, und diese wiederum ruft eine Veränderung der Reibung hervor, bezw. eine Ver-

änderung der Grenzbedingungen für die Bewegungen einer viscösen Flüssigkeit in der verengerten Röhre hervor. Wird der Arm gehoben, werden die Gefässe in der Peripherie enger, die Geschwindigkeit der Strömung wird verringert. Wird der Arm gesenkt, so werden die Gefässe weiter, die Geschwindigkeit der Strömung wird vergrössert. Das sind Folgerungen, die mit den Tatsachen der Temperaturbestimmungen der gehobenen und gesenkten Hand wohl im Einklang stehen (s. Menli!). Hierbei ist aber eines noch in Betracht zu ziehen. Die Druckverminderung würde die statischen Verhältnisse teilweise so ändern, dass sie zu vollständigem Verschluss einzelner Gefässe, in erster Linie der Venen führen würde. Die Druckverminderung in den Gefässen der Hand beträgt, bei vollständiger Hebung des Arms, etwa 50 cm Wasser, würde also unter allen Umständen den Druck in den Venen der Hand auf o herabsetzen, wenn nicht durch die Sistierung der Strömung in diesem Fall statische Verhältnisse eintreten würden. Der zur Überwindung der Reibung notwendige Unterschied des Drucks in den Venen und den Arterien würde aufgehoben werden, und die Venen müssten wiederum geöffnet werden. Doch muss unter allen Umständen eine Verengerung der Gefässe bestehen bleiben, da das erste Moment die durch die Veränderung des Drucks in der Peripherie bedingte Verengerung der Gefässe unter keinen Umständen überkompensiert werden kann. So kann man diese Veränderungen der stationären Strömung elementar klarlegen. Es wäre sehr wünschenswert und auch unschwierig durchführbar, diese Erörterungen zu einer genaueren allgemeinen Analyse zu erweitern.

Die Hebung des Armes wird relativ viel mehr ihren Einfluss auf die Strömung des Blutes ausüben, als die Senkung des Arms, weil durch die gleiche Verminderung des Drucks um einen bestimmten Wert ein viel grösserer Einfluss auf das Lumen des Gefässes ausgeübt

wird, als durch die Vermehrung des Drucks um denselben Wert.

Bei der Analyse des Einflusses dieser Veränderungen auf die pulsatorischen Erscheinungen haben wir zweierlei zu berücksichtigen: den unmittelbaren Einfluss der Veränderung des Lumens der Gefässe und die hierdurch sekundär hervorgebrachte Veränderung des Elastizitätskoeffizienten der Gefässe. Wenn man die Entstehung des peripheren Pulsbildes von dem Standpunkt der Lehre von den Mitschwingungen betrachten will, wäre auch hier noch die Veränderung der wirksamen Masse zu nennen. Wir brauchen sie jedoch als besonders wichtigen Faktor nicht zu berücksichtigen, da ihr Einfluss ähnlich sich bemerkbar machen würde wie der Einfluss der Veränderung des Elastizitätskoeffizienten. Dieser aber verschwindet, wie wir sehen werden.

Der unmittelbare Einfluss einer Verkleinerung des Lumens der Gefässe äussert sich in doppelter Art. Zunächst muss nach Nicolls (Journal of physiology XX S. 423), dessen sehr interessante mathematische Untersuchungen bis jetzt unbeachtet geblieben sind, der Radius des elastischen Rohrs eine gewisse Grösse besitzen, damit überhaupt eine pulsatorische Bewegung erfolgen kann. Wenn auch die Untersuchungen Nicolls sowohl in theorethischer Hinsicht, was die Tragweite seiner Schlussfolgerungen betrifft, als in experimenteller Hinsicht der Weiterführung bedürfen, so ist durch ihn hier eine Frage aufgeworfen, die wohl im Auge behalten werden muss.

Der wesentliche Einfluss einer Verminderung des Lumens der Gefässe liegt jedoch sicher in einer Vermehrung der Reibung und in einer dadurch bedingten Dämpfung der Welle. Die Überlegungen, die Nicoll S. 425 ausführt, sind zweifellos nicht stichhaltig. Seine Folgerungen beziehen sich auf die Analyse eines Falls, der in dem arteriellen System nicht verwirklicht ist, auf die Be-

trachtung der Dämpfung einer ebenen Welle, die analog manchen Schallwellen, nach der Seite der Achse der Fortpflanzungsrichtung unbegrenzt sind. Das ist natürlich bei den Pulswellen nicht der Fall. Hier muss bei den mathematischen Entwicklungen eine Grenzbedingung eingeführt werden, ebenso wie bei der Ableitung des Poiseuilleschen Gesetzes aus den allgemeinen Gleichungen für die Flüssigkeitsreibung. Der Einfluss des Lumens der Röhre macht sich zweifellos ebenso bemerkbar, wie bei dem Poiseuilleschen Gesetz. Er wird experimentell am deutlichsten demonstriert in dem dämpfenden Einfluss einer Verengerung eines Manometerrohrs auf die Schwingungen des Manometers. Nach den theoretischen Untersuchungen (s. Lamb, Hydrodynamics S. 571) und entsprechend experimentellen Forschungen macht sich der Einfluss einer dämpfenden Wirkung am ersten auf die kurzen Wellen bezw. die kurzen Schwingungen geltend.

Durch die Veränderung des Lumens wird nun aber auch eine Veränderung des Elastizitätskoeffizienten herbeigeführt, da, wenn auch Nicolls einige Einwendungen dagegen macht, die elastische Wand des arteriellen Rohrs im allgemeinen nicht dem Hookschen Gesetz folgt. Dieser Einfluss würde sich in einer Veränderung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit äussern und damit auch in einer Veränderung der zeitlichen Folge der einzelnen Erhebungen des Pulses, die ja als stehende Wellen zu betrachten sind. Diesen Einfluss wird man von vornherein nur gering schätzen, da ein sicherer Einfluss des arteriellen Drucks auf die Fortpflanzungsgeschwindigkeit bisher überhaupt noch nicht nachgewiesen ist. Solche beschränkte Veränderungen des Drucks, wie sie hier gesetzt wurden, werden wohl ganz ausser Betracht kommen.

Experimentelle Ergebnisse der Untersuchung.

Nach den Feststellungen von v. Kries und Otto Frank treten in der ersten Hälfte des Radialpulses drei

Erhebungen — Maxima — auf. Die erste wurde von v. Kries als Hauptschlag, die zweite als Zwischenschlag, die dritte als Nebenschlag bezeichnet. Dieser Nomenklatur hat sich O. Frank vorläufig angeschlossen. Es dürfte sich jedoch vielleicht empfehlen eine völlig indifferente Bezeichnungsweise vorläufig einzuführen und die drei Erhebungen (Schläge oder Maxima) als erste, zweite und dritte zu benennen. Die erste Erhebung kann nämlich an absoluter Höhe hinter der zweiten zurückstehen, sodass das Hauptmaximum des Pulses von der zweiten gebildet wird. Dies ist insbesondere bei Greisenpulsen der Fall.

Nach der Anschauung von Frank sind die beiden ersten Erhebungen als Eigenschwingungen des peripheren Gefässgebiets insbesondere des Radialisteiles aufzufassen. Sie sind in dem Brachialispuls noch nicht oder bedeutend schwächer vorhanden. Vor allem tritt die erste, die gewöhnlich das Hauptmaximum bildet, in dem Brachialispuls sehr zurück, sodass der Radialispuls gegenüber dem Brachialispuls spitz erscheint. Der Brachialispuls hat mehr die Form des Greisenpulses in der Radialis.

Die zweite Erhebung folgt der ersten sehr rasch nach, sie entspricht einer zweiten schwächeren Eigenschwingung des peripheren Teils, mit der sich die Erhebung des Hauptgipfels des zentralen Pulses verbindet.

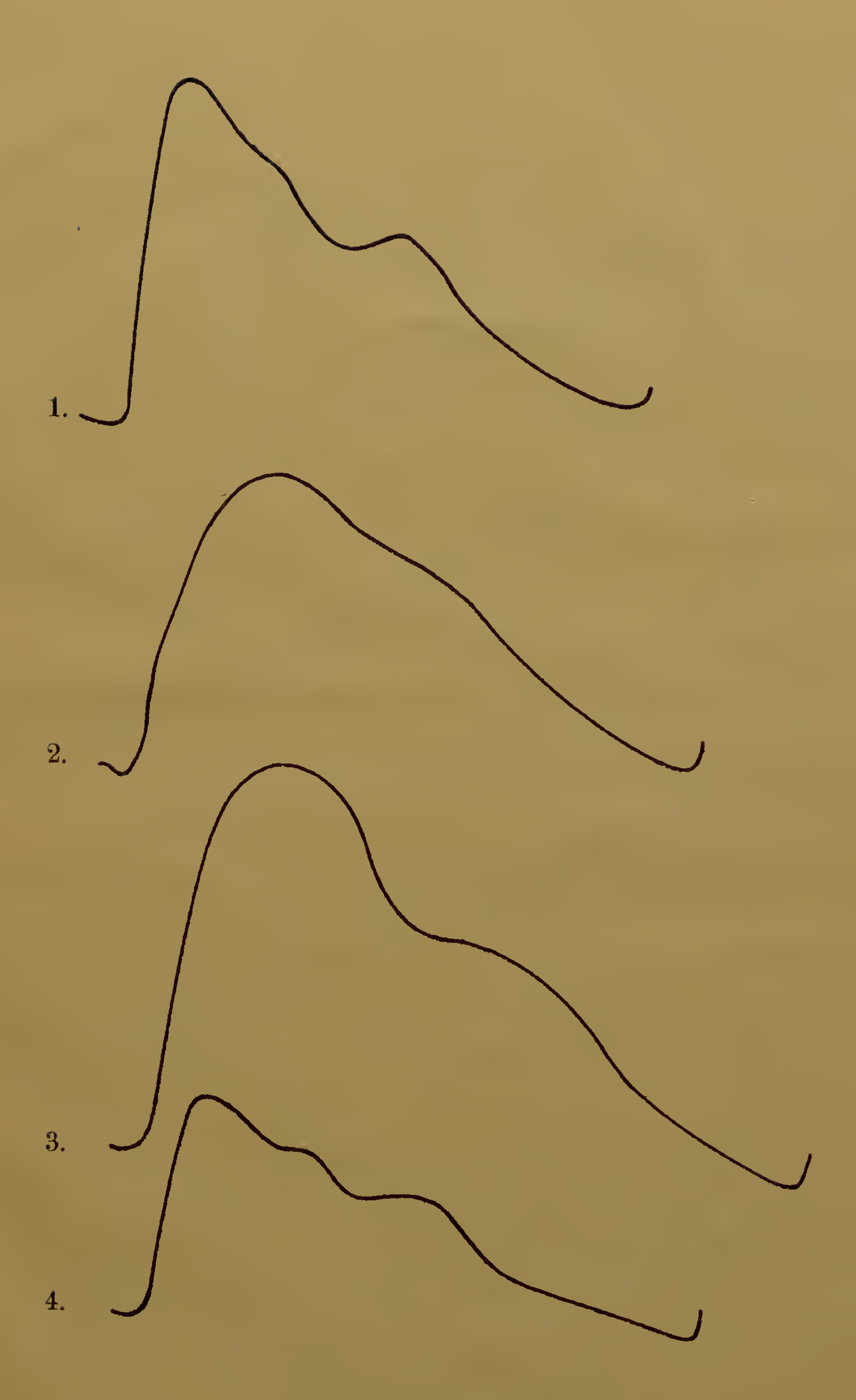
Die dritte im allgemeinen in den absteigenden Ast der Pulskurve fallende Erhebung, die unter Umständen ausserordentlich ausgeprägt sein kann, und dann den sogenannten Dikrotismus des Pulses hervorruft, kann teilweise von einer Fortleitung der Klappenschlussinzisur bedingt sein. In der Hauptsache handelt es sich hier um eine Eigenschwingung grösserer Gefässgebiete, bezw. Wellenreflexionen, an denen grössere Gefässgebiete als die Radialis teilnehmen, beispielsweise Reflexionen aus dem ganzen Gebiet der Subclavia.

Ausser diesen drei Erhebungen tritt nur noch eine vierte, im wesentlichen durch die Untersuchungen von Frank aufgedeckte Erhebung in dem späteren Teil des Pulses hervor, die etwa in demselben zeitlichen Abstand hinter der dritten folgt, wie diese hinter dem Hauptmaximum der Pulskurve, also für gewöhnlich der ersten Erhebung folgt.

Die Veränderungen der Pulsform, die beim Erheben des Armes eintreten (siehe die Kurven), sind im wesentlichen folgende:

Sie sind geringfügig, solange sich die Erhebung auf mässige Grade beschränkt, solange der Arm nicht mit Anstrengung gehoben wird. Sie bestehen in einer etwas geringeren Ausbildung der zwei ersten Erhebungen. Daneben erscheint die Exkursion des Pulses etwas grösser zu werden. Die letztere Erscheinung ist nicht sicher festgestellt. Wir wollen eine Erklärung vorläufig hintanstellen. Die geringe Ausbildung der kurzen ersten Schwingungen dürfte eine Folge der zunehmenden Verengerung und dadurch bedingter grösserer Reibung oder Dämpfung sein.

Wird der Arm stark erhoben, so ändert sich die Pulsform wesentlich. Die Steilheit des Anstiegs wird beträchtlich vermindert. Das abgerundete Maximum der Kurve fällt dadurch später. Die ersten beiden Elevationen verschwinden vollständig. Die dritte ist noch deutlich vorhanden, erscheint aber ebenfalls abgerundet. Dass diese starke Veränderung bei dem immer stärkeren Erheben des Arms nicht allmählich eintritt, sondern von einer bestimmten Höhe ab bei weiterem angestrengten Erheben plötzlich, da es auch bei einigen Personen in mittlerer Lage des Armes bei starkem aktivem oder passivem Zurückdrücken des Arms zustande kommt, so unterliegt es wohl keinem Zweifel, dass die Erscheinung durch eine lokale Kompression oder lokalen Knickung der Subclavia



Fr., 40 J., 167 cm Körperlänge.
1. Herzhöhe. 2. u. 3. Arm gehoben. 4. Arm gesenkt.



Fl., 25 J., 172 cm Körperlänge.
1. Herzhöhe. 2. Arm erhoben. 3. Arm gesenkt.

bedingt ist. Die Pulsform verändert sich ganz ähnlich, wenn die Brachialis an dem Oberarm komprimiert wird. Die Pulskurve, die man zum Schluss bei der maximalen Erhebung erhält, ist etwa so gegenüber den normalen verändert wie die Blutdruckkurven, die mit einem stark gedämpften Manometer aufgeschrieben werden gegenüber den Kurven, die ein ungedämpftes Manometer registriert.

Die Schnelligkeit, mit der die einzelnen Schwingungen aufeinander folgen, ändert sich bei dem Erheben des Arms so wenig, dass sie ohne Zeitmarkierung, die wir erst bei den letzten Versuchen anwenden konnten, nicht festzustellen ist. Wir hätten zu erwarten, wenn bei dem Heben nicht vasomotorische Faktoren ins Spiel treten, dass die Schwingungen etwas langsamer sich folgen.

Die Veränderungen der Pulsform, die eintreten, wenn der Arm aus der horizontalen Lage gesenkt wird, sind äusserst geringfügig. Man kann sagen, dass die sämtlichen Elevationen etwas deutlicher hervortreten, besonders die beiden ersten kurzen werden ausgeprägter.

So bekommt, wenn wir von der gesenkten Stellung des Armes ausgehend, den Arm allmählich erheben, das Pulsbild in der Radialis mehr das Aussehen des Pulses in der Brachialis. Die Annäherung kann so weit gehen, dass die zweite Erhebung, die für gewöhnlich in dem Radialispuls an absoluter Höhe hinter der ersten zurückbleibt, zu dem Hauptmaximum des Pulses wird (s. Kurven 2).

Wenn die Apparate in dem letzteren Fall nicht getreu verzeichnen, „schleudern", dann wird die Kurve anakrot, wie dies von einigen oben zitierten Autoren berichtet wird. Unsere mit dem neuen prinzipiell wesentlich verbesserten Instrument erhaltenen Kurven weisen nirgends eine derartige neue Erhebung auf. Sie muss als Kunstprodukt betrachtet werden. Was Marey[1]) über

---

[1]) La circulation du sany 1881. S. 265. 287. 439.

die Veränderung der Pulskurven bei Veränderung der Lage des Armes gesagt hat, lässt sich kaum aus seinen Kurvenbeispielen ersehen. Die Kurven, die er reproduziert hat, erscheinen so entstellt, dass ein Eingehen auf sie sich nicht verlohnt. Noch mehr gilt dies für die Kurven in den Arbeiten von Menli und Urlichs.

Bis nicht weitere experimentelle Beweise erbracht werden, wird man die von uns geschilderten nicht beträchtlichen Änderungen der Pulsform als die wirklich stattfindenden zu betrachten haben.

Die Veränderung der Pulsform erklärt sich im wesentlichen aus der Abnahme des Lumens der Arterie, und dadurch bedingten Zunahme der Reibung, die bei allmählicher Hebung des Armes eintritt. Bei extrem starker Erhebung des Armes tritt eine besondere örtliche Kompression und dadurch bedingte Dämpfung in der Subclavia ein.

Durch die vermehrte Reibung werden in erster Linie die kurzen Schwingungen, wie dies die Theorie der Wellenbewegung verlangt, ausgelöscht.

Längeres Erheben des Armes bis zu 60 Minuten bedingt keine weitere Veränderung der Pulsform, ein Zeichen, dass ausgiebige lokale vasomotorische Erregungen nicht stattfinden.

Der Blutungen verringernde Einfluss der stärkeren Elevation dürfte also im wesentlichen auf Vermehrung der Reibung zurückzuführen sein.

Zum Schluss spreche ich Herrn Prof. Dr. Frank für die freundliche Überlassung der Aufgabe und die mir gewährte Unterstützung meinen ergebensten Dank aus, ebenso bin ich Herrn Dr. Petter für seine bereitwillige Anleitung bei der Ausführung meiner Versuche zu Dank verpflichtet.

Lebenslauf.

Ich, Wilhelm Flaskamp, geboren zu Stromberg in Westfalen am 16. März 1880, besuchte die dortige Elementarschule, darauf die Rektoratschule in Oelde und dann das humanistische Gymnasium zu Meppen, wo ich am 21. März 1901 das Maturitätsexamen bestand. Im Sommer-Semester 1901 studierte ich in Freiburg in Baden, darauf 3 Semester in Marburg. Dort bestand ich am 28. Februar 1903 die ärztliche Vorprüfung. Im Sommer-Semester 1903 war ich in Kiel immatrikuliert, wo ich zugleich meiner Militärpflicht genügte, im Winter-Semester 1903/04 besuchte ich die Universität Berlin. Vom Sommer-Semester 1904 bis Winter-Semester 1905/06 war ich an der Universität Giessen immatrikuliert. Hier bestand ich am 30. Dezember 1905 das ärztliche Staatsexamen.

